

Analisis Bawah Permukaan Gunung Sibayak Kabupaten Karo Menggunakan Metode Geomagnetik dengan Pemodelan 2D dan 3D

Nadinda Dwi Putri, Lailatul Husna Lubis*, Ratni Sirait

Program Studi Fisika, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

Email korespondensi : lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v21i2.17515>

Submitted: 26 September 2023; Accepted: 29 May 2024

ABSTRAK- Gunung Sibayak merupakan gunung berapi kuarternar yang terletak di daerah Berastagi, terletak di bagian utara pulau Sumatera, kurang lebih 25 km di utara Danau Toba. Akan tetapi, batuan yang dihasilkan sangat berbeda dengan batuan seusia di Sumatera, Jawa, dan Tufa Toba. Untuk menggali informasi tentang struktur bawah permukaan daerah Gunung Sibayak, Kabupaten Karo, digunakan Geofisika. Penelitian ini menggunakan metode geomagnetik untuk menginterpretasikan lapisan bawah permukaan dan jenis batuan berdasarkan intensitas medan magnet yang diukur di permukaan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat PPM GMS 19T (Proton Precession Magnetometer) dengan mengambil data dari 51 titik pengukuran dengan jarak jangkauan ± 10 meter pada setiap titik ukur. Pengolahan data diawali dengan koreksi IGRF, pemisahan anomali regional dan residual menggunakan bandpass filter, reduksi ke kutub, dan interpretasi data. Pemodelan data menggunakan Oasis Montaj untuk pemodelan 2D dan ZondGM3D untuk pemodelan 3D. Litologi bawah permukaan Gunung Sibayak Kabupaten Karo dapat dilihat pada bawah permukaan daerah penelitian. Terdapat dua jenis batuan yaitu batuan lempung sebagai batuan penutup yang mengalami alterasi akibat aliran hidrotermal dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar $(-10 \times 10^{-3}) - (-2 \times 10^{-3})$ SI dan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar $(35 \times 10^{-3}) - (50 \times 10^{-3})$ SI.

KATA KUNCI: Gunung Sibayak, magnetik, PPM, suseptibilitas.

ABSTRACT- Mount Sibayak is a quaternary volcano located in the Berastagi area, located in the northern part of the island of Sumatra, approximately 25 km north of Lake Toba. However, the rocks produced are very different from rocks of the same age in Sumatra, Java, and the Toba Tufa. To dig up information about the subsurface structure of the Mount Sibayak area, Karo Regency, use Geophysics. This research uses the geomagnetic method to interpret subsurface layers and rock types based on the intensity of the magnetic field measured at the surface. Measurements were carried out using the PPM GMS 19T (Proton Precession Magnetometer) tool by taking data from 51 measurement points with a range of ± 10 meters at each measuring point. Data processing begins with IGRF correction, separation of regional and residual anomalies using a bandpass filter, reduction to the poles, and data interpretation. Data modeling uses Oasis Montaj for 2D modeling and ZondGM3D for 3D modeling. The subsurface lithology of Mount Sibayak, Karo Regency, can be seen in the subsurface of the research area. There are two types of rock, namely clay rock as a capping rock, which is altered due to hydrothermal flows with susceptibility contrast values ranging from berkisar $(-10 \times 10^{-3}) - (-2 \times 10^{-3})$ SI and rock andesite intrusions containing hydrothermal fluids with susceptibility contrast values ranging from $(35 \times 10^{-3}) - (50 \times 10^{-3})$ SI.

KEYWORDS : Mount Sibayak, magnetic, PPM, susceptibility.

PENDAHULUAN

Lapangan panas bumi Gunung Sibayak terletak di patahan Semangko, daerah dataran

tinggi di Kaldera Singkut, dan merupakan salah satu dari banyak lapangan panas bumi atau tempat di Pulau Sumatera. Proses

vulkanik dan tektonik, yang terwujud sebagai struktur kaldera dan beberapa sistem patahan, sebagian besar mengatur struktur geologi wilayah ini. Dasit dan andesit yang ditemukan di sini adalah endapan vulkanik kuartern yang terbentuk sebagai akibat dari letusan gunung-gunung di sekitarnya. Solfatara, fumarol, mata air klorida, dan sinter silika adalah manifestasi yang mungkin ditemukan di zona panas bumi ini (Daud, 2001).

Ketika lempeng tektonik bertemu, patahan atau retakan tercipta, dan energi panas bumi dilepaskan ke Bumi sebagai akibat dari aktivitas fisik dan kimia bumi. Dengan demikian, manifestasi permukaan sumber panas bumi dapat digunakan untuk menentukan keberadaannya, karena sumber-sumber ini merupakan indikasi endapan reservoir yang dapat dieksplorasi untuk energi panas bumi (Habibirahman et al., 2019). Sistem panas bumi merupakan bagian integral dari energi panas bumi (Afandi et al., 2013). Produksi dan transportasi listrik dapat memperoleh manfaat dari energi panas bumi, yang dapat menggantikan sumber daya yang tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Penggunaan energi panas bumi berpotensi untuk meringankan masalah yang sedang berlangsung tentang ketidakmampuan pemerintah untuk mengatasi permintaan listrik yang terus meningkat (Nurwahyudin & Harmoko, 2020).

Penelitian ini dibangun berdasarkan penelitian sebelumnya dengan menggunakan data gravitasi dan magnetotellurik (MT) untuk menentukan potensi lapangan panas bumi Sibayak di Sumatera. Menurut data MT, terdapat zona reservoir dengan resistivitas sedang dan zona resistivitas rendah yang terdapat batuan lempung. Zona berbentuk kubah ke atas dengan anomali resistivitas besar diperkirakan mewakili sumber panas sistem panas bumi dan terletak di bawah zona reservoir (Adhawiyah et al., 2015).

Lebih lanjut, penelitian di lapangan panas bumi Gunung Sibayak telah dilakukan dengan memanfaatkan ekstraksi garis dan data InSAR. Berdasarkan temuan Mukarromah (2017), zona potensi panas bumi yang terletak di zona

transisi antara kerapatan garis lurus rendah dan tinggi, secara langsung berkaitan dengan keberadaan pola struktur geologi primer pada geologi regional.

Berbagai metodologi diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang sistem panas bumi Gunung Sibayak dan potensinya, oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode geomagnetik untuk mengetahui litologi batuan yang menyusun struktur bawah permukaan (Rahmatillah et al., 2023).

Pendekatan geomagnetik banyak dilakukan dalam proses pencarian minyak, energi panas bumi, batuan mineral, dan aktivitas gunung berapi. Hal ini didasarkan pada kecepatan, kemudahan, penggunaan, dan akurasi pengukuran yang relatif tinggi. Pendekatan ini ideal untuk survei pendahuluan yang dilakukan di lapangan (Umamii et al., 2017). Target dari eksplorasi panas bumi ini berupa zona reservoir yang mengandung fluida panas (Suci & Putra, 2021).

Prinsip dasar dari metode geomagnetik adalah gaya Coulomb (nT), yaitu ketika terdapat muatan atau kutub (p_1 dan p_2) yang berjarak r , maka dua muatan atau kutub tersebut akan saling tolak-menolak jika sejenis, sedangkan jika berlawanan akan saling tarik-menarik dengan gaya (F). Gaya Coulomb (nT) dinyatakan dengan persamaan 1.

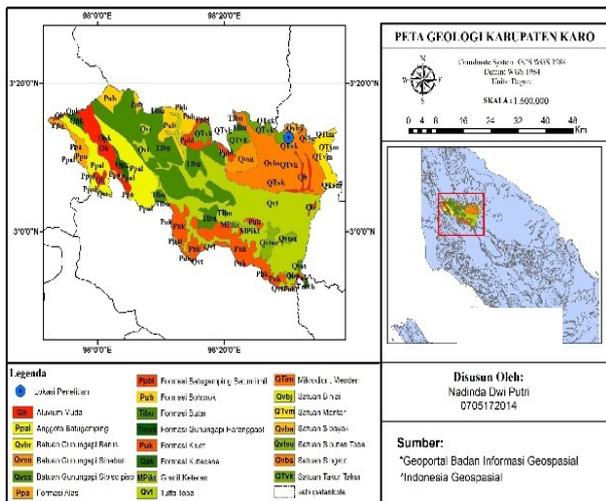
$$F = \frac{p_1 p_2}{\mu_0 r^2} \hat{r} \quad (1)$$

dengan p_1 dan p_2 adalah kutub magnetik berjarak r (m), μ_0 adalah permeabilitas medium ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ N/A²), dan \hat{r} adalah vektor satuan (Permana et al., 2022).

Metode geomagnetik memerlukan beberapa koreksi, diantaranya koreksi harian, koreksi IGRF, dan koreksi RTP. Karena medan magnet harian paling kuat sekitar tengah hari, penyesuaian dilakukan untuk mengurangi frekuensi anomali pada saat itu (Lowrie & Fichtner, 2020). Koreksi IGRF digunakan untuk mereduksi nilai anomali keseluruhan pada setiap lokasi ke nilai IGRF, yang selanjutnya meminimalkan dampak medan magnet bumi terhadap medan magnet yang

diukur (Kusmita et al., 2023). Untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik, dapat dilakukan rektifikasi kutub, juga dikenal sebagai *Reduce to Pole* (RTP), yang memerlukan pengaturan sudut inklinasi menjadi 90° dan deklinasi menjadi 0° . Karena induksi magnetisasi bumi dan medan magnet berada pada arah ke bawah, maka dilakukan penyesuaian ini (Harahap & Tampubolon, 2017)

Menurut Sutanto (2003), aktivitas tektonik dan vulkanik memiliki dampak yang signifikan terhadap susunan geologi Gunung Sibayak. Batuan sedimen yang berusia mulai dari Pra-Tersier hingga Tersier membentuk lapisan bawah lapangan panas bumi Sibayak. Pada tingkat yang lebih tinggi, batuan vulkanik seperti andesit menutupi batuan sedimen melalui ketidakselarasan. Karena adanya zona kehilangan sirkulasi, formasi ini—yang meliputi batu pasir, serpih, dan batu gamping—diyakini merupakan zona reservoir. Serangkaian letusan gunung berapi Kuartar menciptakan lapisan batuan beku (Atmojo et al., 2000).



Gambar 1. Peta Geologi Regional

Gambar 1 menunjukkan peta geologi regional terlihat bahwa Batuan QTvk (satuan takur-takur) tersusun dari batuan beku ekstrusif, batuan beku intermediate dan lava. Batuan ekstrusif merupakan jenis batuan beku yang dihasilkan melalui proses pembekuan magma (hasil erupsi) di permukaan bumi lalu mengalami pendinginan yang cepat dan berbentuk kristal-kristal kecil. Contohnya

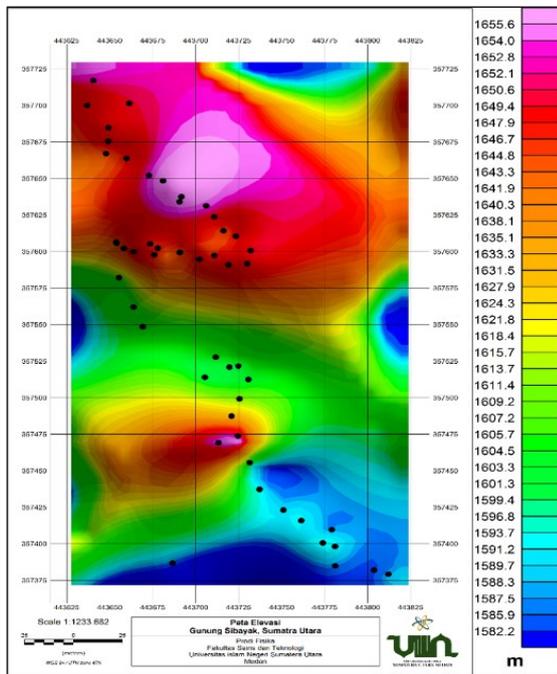
adalah andesit. Lava adalah magma yang dimuntahkan oleh erupsi gunung berapi. Lava adalah material utama vulkanik. Batuan beku andesit merupakan contoh batuan beku intermediat karena konsentrasi silikanya berkisar antara 52% hingga 66%.

METODE PENELITIAN

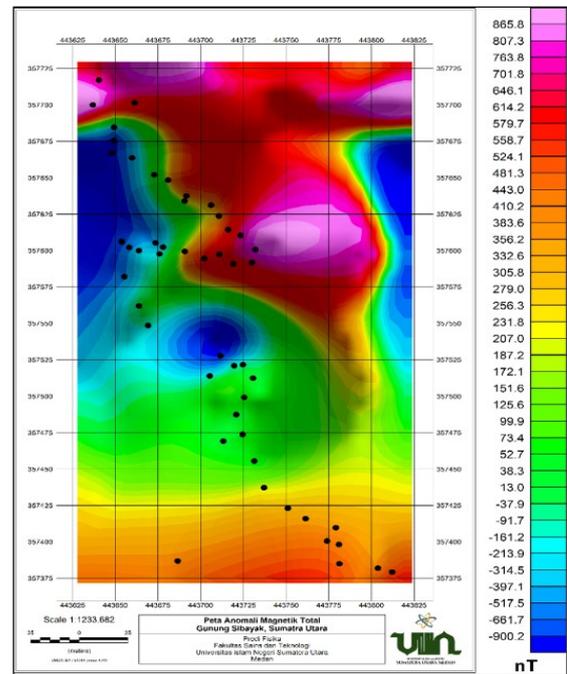
Penelitian ini menggunakan alat PPM (*Proton Proccession Magnnometer*) GMS 19T, GPS, peta topografi, *stopwatch* dan alat tulis. Pengambilan data dilakukan di daerah desa Jaranguda Kabupaten Karo Sumatera Utara dengan sebanyak 51 titik pengukuran, dengan titik koordinat yaitu $3^\circ 23' 62.16'' \text{N}$ $98^\circ 49' 27.13'' \text{E}$ - $3^\circ 23' 51.78'' \text{N}$ $98^\circ 49' 30.51'' \text{E}$.

Pada peta elevasi di daerah penelitian terlihat bahwa elevasi daerah penelitian berkisar 1582,2 – 1655,6 m di atas permukaan laut seperti pada Gambar 2.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 51 titik pengukuran yang tersebar pada daerah penelitian yang dilakukan di sekitar Gunung Sibayak yang bergantung pada target dan kondisi lapangan. Setelah data diperoleh, tahapan selanjutnya adalah pengolahan data. Koreksi Medan Referensi Geomagnetik Internasional (IGRF) merupakan ukuran standar kekuatan medan magnet utama Bumi dan referensi untuk nilai magnetik di lokasi tertentu dan hal ini merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam pemrosesan data. *Filter bandpass* digunakan untuk pemisahan anomali regional dan residual karena filter ini secara efektif melewatkan frekuensi rendah dan tinggi sambil mempertahankan semua frekuensi lainnya. Mengurangi anomali total anomali medan magnet ke kutubnya, atau RTP, memungkinkan penghapusan kemiringan anomali, yang pada gilirannya memungkinkan korelasi dengan anomali lain, informasi geologi, dan klarifikasi kesimpulan interpretasi. Pergeseran vertikal dalam arah magnetisasi dan medan primer digunakan untuk menyelesaikan transformasi reduksi ke kutub. Analisis dilakukan baik kualitatif maupun kuantitatif.



Gambar 2. Peta Elevasi Daerah Penelitian



Gambar 3. Peta Anomali Magnetik Total

HASIL DAN PEMBAHASAN

Anomali Magnetik Total

Anomali magnetik total didapatkan dari hasil perhitungan nilai pembacaan medan magnetik pada alat dikurangi nilai koreksi IGRF. Pada peta anomali magnetik total di daerah penelitian terlihat bahwa sebaran medan magnetik di daerah penelitian berkisar $-900,2 - 865,8$ nT, Wilayah utara dan selatan area studi menunjukkan anomali magnetik tinggi ($207 - 865,8$ nT), yang diyakini terkait dengan batuan intrusif andesit yang mengandung fluida hidrotermal. Sebaliknya, wilayah barat dan timur area studi menunjukkan nilai anomali magnetik rendah ($(-900,2) \text{ nT} - (-91,7) \text{ nT}$), yang diyakini terkait dengan batuan lempung yang telah diubah yang telah dipengaruhi oleh aliran fluida hidrotermal.

Data dari pengukuran lapangan, yang membentuk nilai magnetik keseluruhan, masih dipengaruhi oleh medan magnet internal dan eksternal Bumi; karenanya, kelainan pada medan magnet perlu diperbaiki sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.

Anomali Regional dan Residual

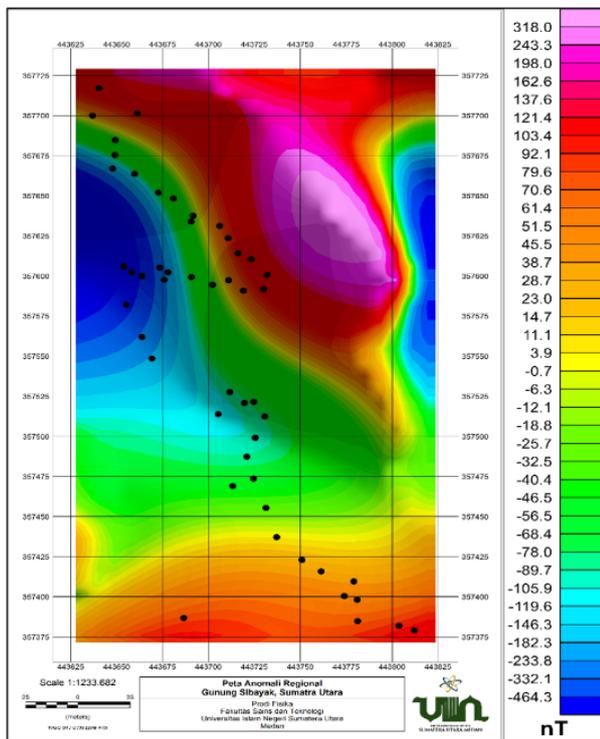
Anomali Regional berasosiasi dengan batuan di kedalaman yang sangat dalam, maka bentuk kontur anomali regional sangat halus dan besar karena asumsi batuan di kedalaman

yang sangat dalam memiliki jenis yang sama atau homogen. Anomali residual berasosiasi dengan batuan di kedalaman yang dangkal atau dekat dengan permukaan, maka bentuk kontur anomali residual terlihat bervariasi karena asumsi batuan di kedalaman yang dangkal dalam memiliki jenis yang berbeda atau heterogen. Pemisahan anomali dilakukan menggunakan *bandpass filter* karena filter ini cukup bagus dalam meloloskan frekuensi rendah maupun tinggi tanpa ada sisa frekuensi yang tertinggal.

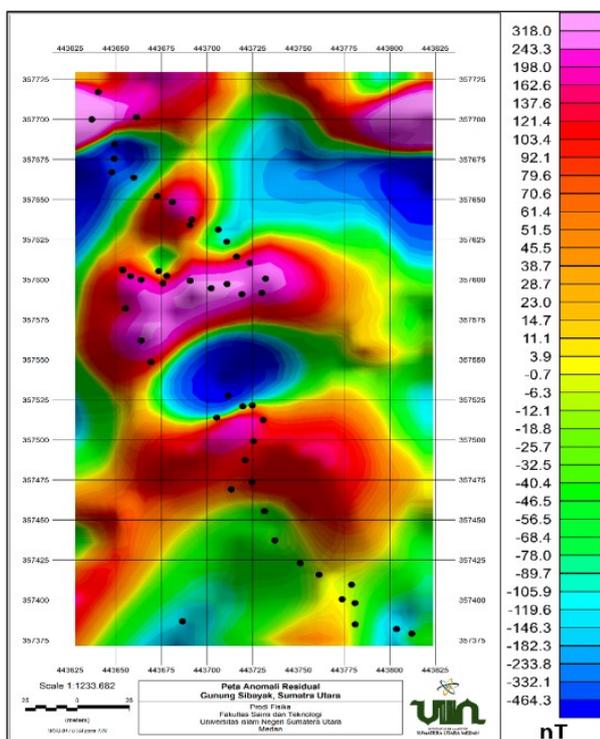
Gambar 4 menunjukkan peta anomali regional di daerah penelitian dimana terlihat bahwa sebaran medan magnetik di daerah penelitian berkisar $-698,7 - 831$ nT, dimana anomali magnetik tinggi berada pada bagian utara dan selatan daerah penelitian berkisar $196,2 - 831$ nT yang diduga berasosiasi dengan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal, sedangkan pada bagian barat dan timur daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik yang rendah berkisar $(-698,7 - (-98,9))$ nT yang diduga berasosiasi dengan batuan lempungan yang teralterasi akibat adanya aliran fluida hidrotermal.

Gambar 5 menunjukkan peta anomali residual di daerah penelitian dimana terlihat bahwa sebaran medan magnetik di daerah penelitian berkisar $-464,3 - 318$ nT, dimana anomali magnetik tinggi berada pada bagian utara dan

selatan daerah penelitian berkisar 3,9 – 318 nT yang diduga berasosiasi dengan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal, sedangkan pada bagian barat, timur dan tengah daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik yang rendah berkisar (-464,3 – (-89,7)) nT yang diduga berasosiasi dengan batuan lempungan yang teralterasi akibat adanya aliran fluida hidrotermal.



Gambar 4. Peta Anomali Regional

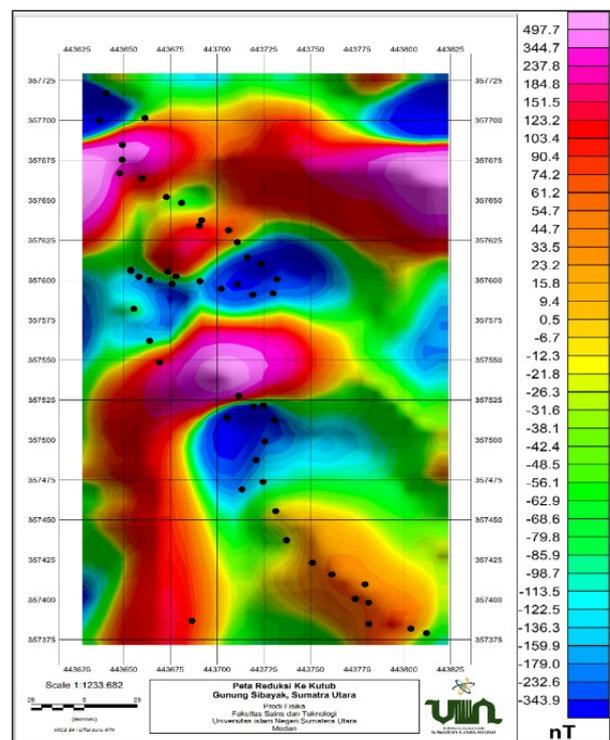


Gambar 5. Peta Anomali Residual

Reduksi Ke Kutub

Reduksi ke kutub merupakan suatu proses reduksi satu kutub magnetik (*monopole*) pada anomali residual agar mempermudah proses interpretasi dan menghilangkan ambiguitas pada data. Untuk menuju kutub, maka akan membuat sudut kemiringan 90 derajat dan sudut deklinasi 0 derajat. Hal ini terjadi karena arah medan magnet bumi dan magnetisasi induknya sama-sama mengarah ke bawah (Sirait, 2021).

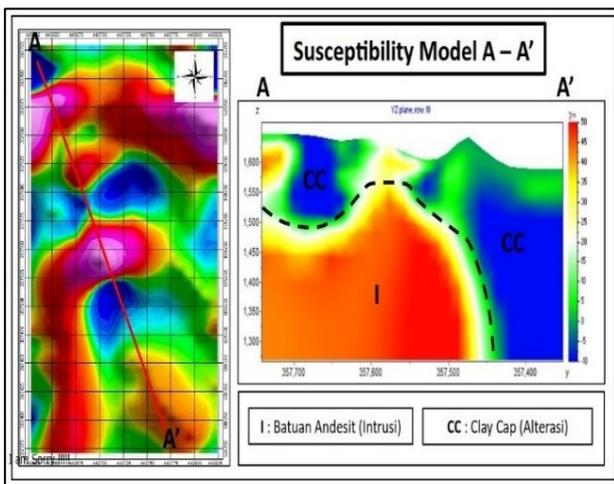
Gambar 6 menunjukkan peta reduksi ke kutub di daerah penelitian dimana terlihat bahwa sebaran medan magnetik di daerah penelitian berkisar -343,9 – 497,7 nT, dimana anomali magnetik tinggi berada pada bagian utara, selatan dan tengah daerah penelitian berkisar -12,3 – 497,7 nT yang diduga berasosiasi dengan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal, sedangkan pada bagian barat, timur, selatan dan tengah daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik yang rendah berkisar -343,9 – (-98,7) nT yang diduga berasosiasi dengan batuan lempungan yang teralterasi akibat adanya aliran fluida hidrotermal.



Gambar 6. Peta Reduksi ke Kutub

Model Inversi Suseptibilitas

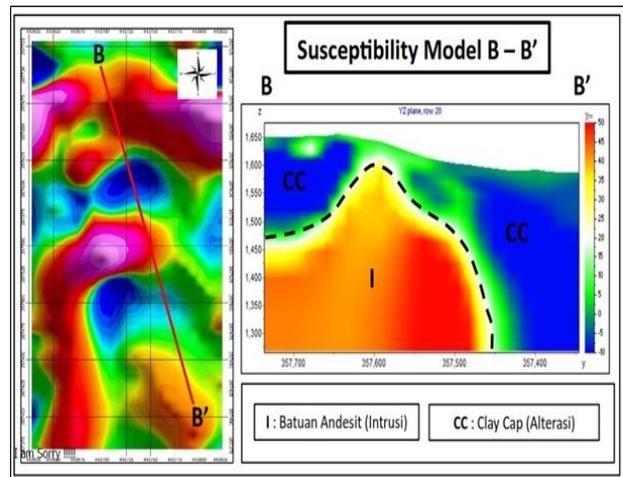
Gambar 7 menunjukkan section model suseptibilitas A – A’ dimana terlihat pada bawah permukaan daerah penelitian terdapat 2 jenis batuan yaitu batuan lempung sebagai batuan penudung yang teralterasi akibat adanya aliran hidrotermal di bawah permukaan dengan kedalaman 100 – 500 m dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar (-10×10^{-3}) – (-2×10^{-3}) SI dan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal dengan kedalaman 200 – 500 m dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar (35×10^{-3}) – (50×10^{-3}) SI.



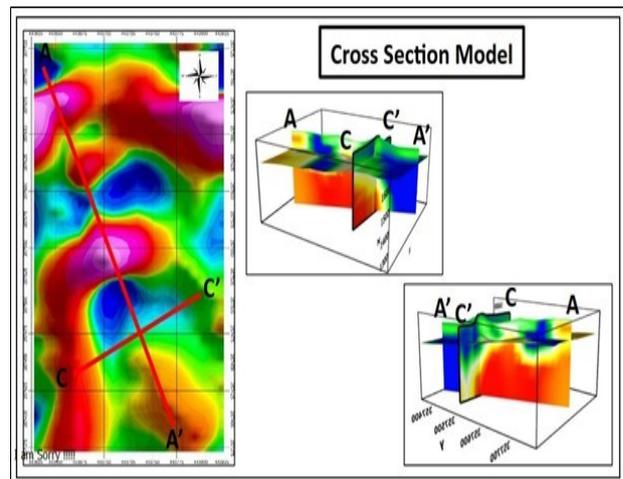
Gambar 7. Susceptibility Model A – A’

Pada Gambar 8 menunjukkan section model suseptibilitas B – B’ dimana terlihat pada bawah permukaan daerah penelitian terdapat 2 jenis batuan yaitu batuan lempung sebagai batuan penudung yang teralterasi akibat adanya aliran hidrotermal di bawah permukaan dengan kedalaman 25 – 500 m dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar (-10×10^{-3}) – (-2×10^{-3}) SI dan batuan intrusi andesit yang mengandung fluida hidrotermal dengan kedalaman 50 – 500 m dengan nilai kontras suseptibilitas berkisar (35×10^{-3}) – (50×10^{-3}) SI.

Pada Gambar 9 menunjukkan *cross section* model A – A’ (BL-TG) dengan C – C’ (BD-TL) dimana terlihat jelas bahwa batuan lempung menebal ke bagian selatan dan menipis ke bagian utara daerah penelitian dan batuan intrusi terlihat menebal di bagian utara dan menipis di bagian selatan daerah penelitian.



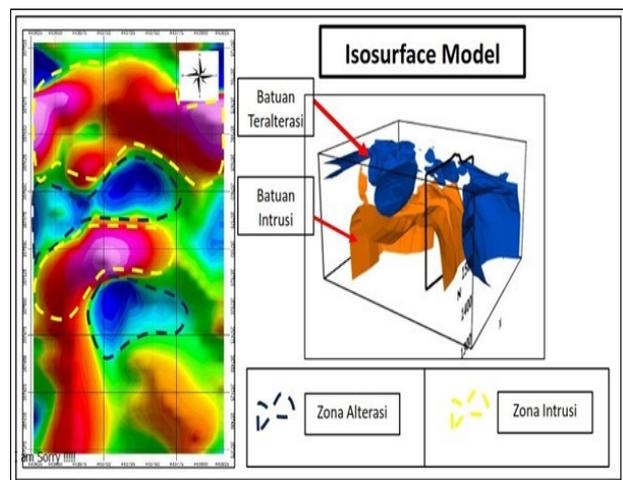
Gambar 8. Suseptibilitas Model B-B’



Gambar 9. Model Inversi Suseptibilitas

Model Isosurface

Setelah dilakukan pemodelan secara 2D dan section model secara 3D, lalu dilakukan model *Isosurface* untuk menggambarkan distribusi batuan yang berada di bawah permukaan yaitu batuan lempung dan batuan intrusi andesit sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Model Isosurface

Pada *isosurface* model di bawah ini terlihat jelas bentuk dan distribusi dari batuan lempung dan batuan intrusi andesit, dimana batuan intrusi andesit menebal ke bagian utara dan menipis ke bagian selatan daerah penelitian, serta batuan lempung menebal ke bagian selatan dan menipis ke bagian utara daerah penelitian, hal ini terkonfirmasi dari geologi regional daerah penelitian dimana pada bagian utara daerah penelitian terdapat gunung Sibayak, yang dimana jika dekat dengan gunung api, batuan intrusi akan menebal serta batuan lempungan sebagai batuan penudung akan menipis karena banyaknya aliran hidrotermal di bawah permukaan.

KESIMPULAN

Pemodelan 2D dan 3D dapat menggambarkan struktur bawah permukaan daerah panas bumi Gunung Sibayak. Terdapat dua jenis batuan pada daerah penelitian yaitu batuan lempung sebagai batuan penudung yang teralterasi adanya aliran hidrotermal dengan kedalaman 25 - 500 m dengan nilai suseptibilitas berkisar $(-10 \times 10^{-3}) - (-2 \times 10^{-3})$ SI dan batuan intrusi andesit yang diduga sebagai reservoir yang mengandung fluida hidrotermal memiliki kedalaman 50 - 500 meter dengan nilai suseptibilitas berkisar $(35 \times 10^{-3}) - (50 \times 10^{-3})$.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhawiyah, D. R., Daud, Y., & Atmojo, J. P. (2015). Modeling of Geothermal System at Sibayak Field Using TOUGH2 and iTOUGH2 Simulator. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition*, 1–7.
- Afandi, A., Maryanto, S., & Rachmansyah, A. (2013). Identifikasi reservoir daerah panasbumi dengan metode geomagnetik daerah blawan kecamatan Sempol kabupaten Bondowoso. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 1–10.
- Atmojo, J. P., Itoi, R., Tanaka, T., Fukuda, M., Sudarman, S., & Widiyarso, A. (2000). Modeling studies of Sibayak geothermal reservoir, Northern Sumatra, Indonesia. *Proceedings of the World Geothermal Congress, 2037–2043*.
- Daud, Y. (2001). Sibayak Geothermal Field (Indonesia): Structure Assessed from Gravity and Hydrogeological Considerations. *Geothermal Resources Council Transaction*, 25, 395–399.
- Habibirahman, S. A., Lestari, L., Kustono, B., & others. (2019). Perhitungan Potensi Cadangan Panasbumi Lapangan “X” Menggunakan Data Eksplorasi. *PETRO: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 8(1), 20–27.
- Harahap, M. A. T., & Tampubolon, T. (2017). Identifikasi Anomali Mangetik Bawah Permukaan Daerah Gunung Sinabung. *Jurnal Einstein*, 5(02), 32–36.
- Kusmita, T., Tiandho, Y., Widyaningrum, Y., & Alawiyah, U. (2023). Suseptibilitas Magnetik Sistem Panasbumi Non Vulkanik Desa Terak Menggunakan Metode Geomagnetik. *Jurnal Geosaintek*, 9(3), 134–141.
- Lowrie, W., & Fichtner, A. (2020). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press.
- Mukarromah, N. (2017). *Identifikasi Zona Potensial Geotermal dengan Menggunakan Citra Alos Palsar (Studi Kasus: Gunung Sibayak Sumatera Utara)*.
- Nurwahyudin, D. S., & Harmoko, U. (2020). Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 111–123.
- Permana, N. R., Gunawan, B., Primastika, A. A., Shafa, D., Fadrian, D. F., & Zani, F. R. (2022). Identification of alteration zone and gold mineralization based on magnetic anomaly and 3D model of geomagnetic satellite data inversion of Mount Pongkor Area, West Java. *Journal of Natural Sciences and Mathematics Research*, 8(2), 94–102.
- Rahmatillah, L. F., Gunarsih, D., Sartika, D., & Muhni, A. (2023). Aplikasi Metode Magnetik Untuk Identifikasi Sebaran Bijih Besi Dangkal Dan Dalam. *Jurnal Hadron*, 5(01), 15–23.

- Sirait, R. (2021). Analisis Anomali Magnetik dalam Penentuan Struktur Geologi dan Litologi Bawah Permukaan sebagai Manifestasi Panas Bumi Di Panyabungan Selatan Sumatera Utara. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 18(2), 83–92.
- Siregar, A. M., Dewi, I. K., & Ngatijo, N. (2021). Identifikasi Batuan Granit Daerah Prospek Panas Bumi Nyelanding menggunakan Metode Magnetik. *Science and Physics Education Journal (SPEJ)*, 4(2), 62–69.
- Suci, R. T., & Putra, A. (2021). Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di sekitar Manifestasi Panas Bumi Desa Sungai Tutung Kerinci Menggunakan Metode Geomagnetik. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 540–547.
- Sutanto. (2003). Geologi Dan Umur Batuan Vulkanik Daerah Berastagi Dan Sekitarnya. *Wahana Teknik*, 5(3), 160–169.
- Umamii, A. M., Yulianto, T., & Wardhana, D. D. (2017). Aplikasi metode magnetik untuk identifikasi sebaran bijih besi di Kabupaten Solok Sumatera Barat. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 296–303.
- Widodo, M., Yulianto, T., Harmoko, U., Yulianto, G., Widada, S., & Dewantoro, Y. (2016). Analisis Struktur Bawah Permukaan Daerah Harjosari Kabupaten Semarang Menggunakan Metode Geomagnet Dengan Pemodelan 2D Dan 3D. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 251–260.